文章编号：

上海激光电子伽马源的建设与试运行[1]

王宏伟[1，2，3*]，范功涛[1，2，3]，许杭华[1]，刘龙祥[1]，张岳[1]，郝子锐[1]，杨宇萱[3，4]，

金晟[2，3]，陈开杰[3，5]，李志才[1，6]，焦普[1，7]，周梦蝶[1，7]，王振伟[2，3]

(1、中国科学院上海高等研究院, 上海 201210)
(2、中国科学院大学, 北京 100049)
(3、中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800）
(4、郑州大学，河南 450001）
(5、上海科技大学，上海 201210）
(6、南华大学 湖南 421001）
(7、河南师范大学 河南 453007）

摘要： 介绍了上海光源线站工程之一的上海激光电子伽马源 (Shanghai Laser Electron Gamma Source, SLEGS)光束线站的建设与试运行情况，在 SLEGS 伽马源装置上可以开展核物理、核天体物理等基础研究、开展伽马辐照，伽马成像及伽马活化等应用研究。SLEGS 光束线站在 2021 年 12 月通过工艺验收，2022 年 10 月进入到试运行阶段，2023 年 9 月对用户开放运行。SLEGS 是国际上首台采用变换碰撞角度连续改变伽马束能量，具有最好的能量扫描精度、流强密度以及高效的能量调节能力。试运行阶段 SLEGS 光束线站重点解决了伽马束能谱和流强的在线监测问题，主要完成了平坦效率谱仪（FED）测量光中子截面的实验方法学研究，以及开展了伽马成像、伽马活化，正电子产生等应用平台的拓展和研究。随着逆康普顿散射技术的发展和应用需求的增加，未来短脉冲、高极化、高通量以及小型化的激光康普顿散射光源将会迎来更好的发展机遇，将在核物理、天体物理、粒子物理，极化物理，以及航空航天，医学检测，能源开发等伽马源应用研究领域发挥重要的作用。

关键词： 激光电子伽马源，SLEGS，光核反应，集体运动

中图分类号： O571.1; O571.42+4 **文献标志码：** **A** **doi：**

1 激光电子伽马源

1.1 激光电子伽马源的发展历史

[1] **投稿日期：** 2023-07-25; **修改日期：** 2024-02-25

基金项目： 科技部重点研发计划(2022YFA1602400)； 国家自然科学基金(No.12275338，12005280)；核数据重点实验室基金（JCKY2022201C152)，中国科学院国际人才计划项目（No. 2021VMA0025)

作者简介： 王宏伟(1971—)，男，蒙古族，内蒙古赤峰市，研究员，博士，实验核物理专业； E-mail: wanghw@sari.ac.cn

20 世纪 60 年代激光器出现以后，就提出利用激光与相对论电子碰撞产生高能光子的概念[1]，1978 年意大利建造了第一台基于激光康普顿散射（Laser Compton Scattering，LCS）的伽马源装置 LADON[2]，1984 年前后美国建成高伽马能量的 LEGS 装置[3]和日本同期建成基于同步辐射装置（TERAS）的 LCS 束线站[4]。此后美国建成有 HIγS@TUNL[5]，PLEIADES@LLNL[6]，T-RAY/M-RAY@LLNL[7]等装置，90 年代以后日本基于同步辐射装置 SPring-8[8]，SAGA[9]，UVSORII/III[10]，NewSUBARU[11]等相继建成激光电子伽马源线站，此后西班牙光源[12]，加拿大光源[13]，韩国浦项光源[14]等同步辐射装置上也提出类似的激光电子伽马源线站的概念设计，但最终都没有获批建设。2016 年欧盟提出 ELI-NP 项目[15]，计划建设基于电子直线加速器的逆康普顿散射伽马源分支（GBS），2020 年更名为 VEGA，目前仍未建成。

SLEGS 光束线站基于上海光源（SSRF）建设，2016 年作为上海光源线站工程（二期）16 条建设线站之一获得国家发改委立项资助[16]，SLEGS 线站 2018 年开工建设，2021 年 12 月底建成验收，2022 年下半年开始试运行，2023 年 9 月向用户开放运行[17]。国内类似装置有清华大学在 TTX[18]的基础上提出了紧凑型 VIGAS 项目[19]，目前在建，中国科学院高能物理研究所基于激光康普顿散射原理上的光子对撞机概念设计[20-23]，2023 年 8 月底中山大学《伽玛光子对撞机及综合束流设施(一期)验证装置可行性研究报告》获得教育部批复。表 1 给出了目前国际上激光康普顿散射伽马源装置的主要运行参数及状态。

表 1，目前世界上的激光康普顿散射伽马源装置运行状况

（Backward Compton Scattering，BCS 为背散射模式，Slanting Compton Scattering，SCS 为斜入射模式）

装置名称	**碰撞方式**	**能量范围 /MeV**	**伽马通量 /phs/s**	**能量分辨**	**目前状态**
HIγS (美国)	BCS	1-100	$10^{6\text{-}9}$	(0.8-10)%	1996-，目前运行[5]
SLEGS (中国)	BCS/SCS	0.4-20	$10^{6\text{-}8}$	~5%@2mm	2022-，建成运行[16,17]
VIGAS（中国）	BCS	0.2-4.8	$>10^{8}$	< 1.5% @Collimator	2025-，预计建成[19]
UVSOR III LCS（日本）	BCS/SCS	1-6.6	~ 10^{7}	~2.9%@2mm	2012-, 运行/应用[10]
ELI-NP/VEGA (欧洲)	BCS	0.2-19.5	$10^{8\text{-}9}$	~0.5@2mm	2023-, 建设中[15]
NewSUBARU B01(日本)	BCS	1-76	~ 10^{7}	~10%@3mm	2005-2021, 部分关闭[11]
LEPS/LEPS2（强子物理）	BCS	1300-2900	$10^{6\text{-}7}$	< 15%@tagging	1999/2013-, 目前运行[8]

2009 年美国能源部的一份技术报告[24]中将激光康普顿散射伽马源列为未来最有潜力的四种光源之一，其中同步辐射和自由电子激光已经有多台装置在运行和建设中，而能量回收型加速器和激光康普顿散射伽马源装置也获得了越来越多的关注，近些年激光康普顿散射伽马源的发展走向了应用型[25]、自由电

子激光专用型[26]，以及直线加速器+小环型加速器+激光外腔[27]的几种模式，未来面向应用的小型激光康普顿散射伽马源装置将会是首选，这种准单能伽马源可以开展光核反应研究，揭示原子核性质与核力相互作用，发现集体运动新现象、探索宇宙重元素起源等，而光核反应数据在反应堆安全、医学检测、航空航天、国防安全等方面需求广泛，但光核反应的研究目前还有这样的一些问题[28-29]：

（1）光核反应实验研究不足，2019 年国际原子能结构汇编了 219 个光核反应实验数据，20 年新增不到 60 个，大部分核素的光核反应截面误差大，精度低。

（2）光核反应应用方面仅美国建有辐照及医学同位素产生平台，欧洲筹划在建伽马辐照，正电子源平台等。

（3）中国一直没有合适伽马源装置，近些年光核反应的实验研究空白！光核反应实验技术和人才比较缺乏。

1.2 SLEGS 装置情况

SLEGS 采用外部引入 10.64um 波长的 CO_2 激光和上海光源储存环的 3.5GeV 电子束以 20-160 度的可变角度发生逆康普顿散射产生伽马束，并通过连续改变激光和电子束夹角的办法实现伽马能量的连续可调；高能量和高极化度伽马束采用激光和电子束以 180 度的夹角发生康普顿背散射产生。SLEGS 的装置布局如图 1 所示[30]：

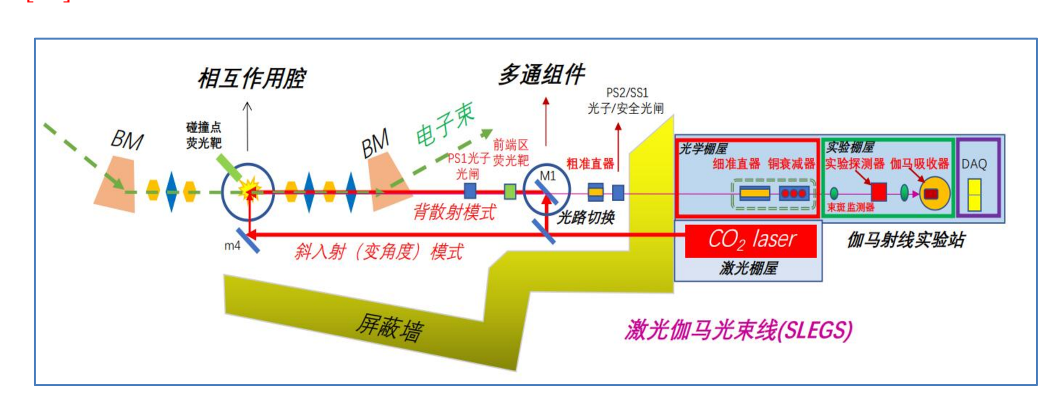


图 1， SLEGS 装置布局示意图，锯齿墙内为相互作用腔，多通组件和粗准直器等关键部件，锯齿墙外为细准直器，衰减器和实验终端等

表 2， SLEGS 现阶段运行参数

参数名称		参数指标
光束线	能量范围	0.25-21.7MeV
	单色性	~5%（加准直器）
	积分伽马光通量	2.14x10^4 phs/s@20° ～2.45x10^6phs/s@90° ～1.20x10^7phs/s@180°
	角度发散度	0.38mrad

实验站	**带电粒子探测器**	能量分辨 0.52%@5.5MeV, 位置分辨 2mm
	高效伽马探测器	能量分辨 0.282%@662keV,相对效率 95.5%

SLEGS 是自主研制的高性能兆电子伏特能量的准单能伽马源光束线站，是国际首台采用连续变角度碰撞方式、快捷更换伽马束流能量的激光康普顿伽马源装置。SLEGS 光束线站可以分为光源系统，束线系统和实验站系统。 其中光源系统关键部件包括：相互作用点靶室及内激光光路，多通组件和外激光光路。相互作用点靶室位于储存环 C03 短直线节，为上海光源二期超级磁铁改造后形成的约 1.8 米插入件空间，因此相互作用点靶室类似于其它光源线站的插入件，激光从靶室顶部垂直入射，在靶室内的转台上呈弓字形变换到水平方向和电子束碰撞，改变靶室内的光学转台就可以连续改变碰撞角度。多通组件是位于光束线前端区的一个小型靶室，前端区是储存环出口和出墙束线之间的一段过渡区域，多通组件内的水冷镜实现了激光偏转 90 度后水平入射，同时兼顾伽马束出射，同步辐射及韧致辐射出射，因此关键部件是一个带有狭缝的水冷平面铜镜。外激光光路是激光从锯齿墙外激光器引入到储存环内的~1Pa 的低真空管道，光路上设置激光功率检测、激光扩束、激光传输、激光偏振以及扫描/聚焦等功能模块[31]。

SLEGS 束线系统包括粗准直器，细准直器和铜衰减器以及局部屏蔽系统。粗准直器位于锯齿墙内的前端区末端，由水冷铍窗将前端区的高真空隔离开，粗准直器设计为固定准直孔径模式，细准直器设计为相机快门模式[32]，另外考虑到未来通过利用出射伽马角度选择伽马能量的模式，SLEGS 正在考虑设计环形准直器[33]。粗准直器有效利用了储存环锯齿墙的屏蔽功能，细准直器和衰减器放置于光学棚屋后端，周边设计了局部增强屏蔽，以降低周边环境的辐射剂量。

SLEGS 实验站系统位于实验棚屋内，由大气铍窗隔离光束线的~0.01Pa 低真空，实验站谱仪通常工作的大气条件下（光致带电粒子谱仪除外）。光核反应主要有 4 类反应类型，即

① （γ,γ/γ′）反应，配置核共振荧光（Nuclear resonance fluorescence, NRF）伽马谱仪，由两台大尺寸同轴高纯锗（High purity Germanium, HPGe）探测器和 2 台高纯锗 CLOVER 探测器，以及 8 台大尺寸 $LaBr_3$ 探测器组成，详细参数参见文献[34]，

② （γ,n）反应，配置 ^{3}He 平坦效率(FED)中子谱仪，由 26 支充气 2 个大气压的 ^{3}He 正比计数器组成，在聚乙烯慢化体中形成 3 组同心圆布局，平均效率在 35-45%左右@1keV -6MeV，详细参数参见文献[35]。另外 SLEGS 还设计了飞行时间(TOF）中子谱仪，由 20 台大尺寸的液闪中子探测器(EJ301）和 8 台大尺寸 $LaBr_3$ 探测器组成，详细参数参见文献[36]。

③ （γ,p/α）反应，配置轻带电粒子(LCP)谱仪，由 4 到 6 组屏栅电离室（GIC）、硅微条(Si strip)探测器和 3x3 阵列的 CsI 组成望远镜探测器，望远镜放置在大体积真空靶室内，这一谱仪目前已经完成望远镜单元测试。

④ （γ,Fission）反应，目前 SLEGS 线站暂未考虑这一类型光核反应的测量。

⑤ SLEGS 为每类谱仪配置了独立的探测器电子学与波形采样器(Digitizer)，有意大利 CAEN 公司的 CoMPASS，德国 Mesytec 公司的 MVME，以及自主开发的数据获取系统[37]。最高可以实现约 120 路的波形采样获取。

1.3 SLEGS 的研究平台

SLEGS 线站的科学目标为通过光核反应开展核天体物理、核物理、极化物理等领域中的基础研究，特别是解决核物理、核天体物理中具有重大科学价值的问题；开展与航天、国防、核能等战略需求相关的应用基础研究，以及航天伽马探测器的精确定标，核能关键光核截面，核废料嬗变截面研究等。建成的 SLEGS 装置有望成为一个开展基础物理和应用相结合的多功能实验平台。

SLEGS 的重点研究方向有：

（1）恒星演化中重元素的产生机制研究，是 11 个物理学未解问题之一。（2）共振及簇团结构的精确测量，是检验核多体理论和核力的天然实验室。 （3）核能及核废料伽马嬗变研究，是国家能源可持续发展的战略需求。（4）极化伽马束研究反应产物的极化角分布，是基本对称性研究的一个重要工具。

为了扩展 SLEGS 准单能伽马束的综合应用，SLEGS 束线站也考虑了应用研究平台建设，包括：

1）器件辐照效应实验研究平台：随着半导体和微电子领域的快速发展，大量新材料、新结构、新工艺，甚至新的物理原理在器件研制中得到应用，新型器件的辐射效应研究需求迫切。辐射效应实验研究需要建立覆盖应用环境粒子能谱和剂量率范围的，连续可调的单色辐照源，开展不同射线、不同能量、不同剂量率辐照下器件辐射效应的研究

2）兆电子伏特能量可调正电子源研究平台：伽马射线与物质相互作用之一的正负电子对产生是一种获得快正电子源的方法，当伽马光子能量超过两个电子的静止质量之和（即 1.02MeV）时，在原子核库仑场作用下，伽马光子转化为正负电子对。正电子湮没谱学是原子尺度无损检测的方法之一。

3）高能伽马探测器定标测试平台：目前能量范围大于 3 MeV 的高能伽马探测器定标主要采用放射性同位素标准源，高能伽马也可以采用加速器(p,γ)反应产生的单能退激伽马射线作为探测器的标定手段，但是这种标定方法的能量范围及能量点有限，且需要较长的加速器束流时间才能完成，而 SLEGS 将能够提供 3-21.7MeV 之间连续可调的伽马束用于能量刻度。

4）伽马成像技术研究平台：利用 X 射线灵敏的硅像素探测器（MiniPIX），以及伽马束斑检测器(Gamma Spot Monitor, GSM)，SLEGS 束线站可以开展伽马成像极其相关技术研究。

5）伽马活化技术研究平台：利用伽马射线的活化技术，可以将天然稳定靶激发为放射性靶，退激放射特定的伽马射线被低本底的 HPGe 探测器测量，就可获得出活化束流强度，或者测量目标核的截面等数

据。

此外 SLEGS 还可以开展伽马嬗变关键技术等应用研究，伽马嬗变作为中子嬗变的补充，对于特定的高放射性废物具有很好的嬗变效果，如 ^{131}I 等，结合中子嬗变和伽马嬗变，可以大大提高总嬗变效率。

2　SLEGS 的建设与调试

SLEGS 的激光光路设计为外光路和内光路两部分；外光路包括 CO_2 激光器，He-Ne 准直激光器，激光功率检测，激光扩束和聚焦，起偏器等。为了避免空气气流的影响，外光路设计为低真空管道传输 20 米以后进入到储存环内的碰撞点靶室和多通组件的内光路中。图 2 所示 SLEGS 光路系统示意图。

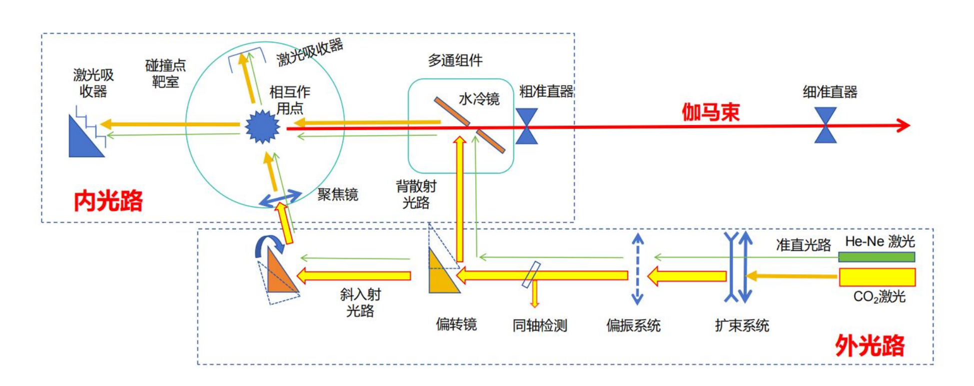


图 2，SLEGS 的光路系统示意图，分为内光路和外光路两部分

图 3 为四类实验谱仪的工程设计和现场照片：分别为核共振荧光（NRF）伽马谱仪[31]，平坦效率（FED）中子谱仪[32]，飞行时间（TOF）中子谱仪[33]以及轻带电粒子（LCP）谱仪。由于光源装置的实验站空间均相对较小，因此 SLEGS 的实验终端也受此影响，实验探测器装置只能在紧凑的空间内布局，如图 4 所示，从左到右依次为飞行时间闪烁体探测器，平坦效率探测器及电子学机柜，$LaBr_3$ 探测器，X 射线束斑检测器(MiniPIX)，伽马束斑检测（GSM），以及束线末端的伽马束流吸收器等。

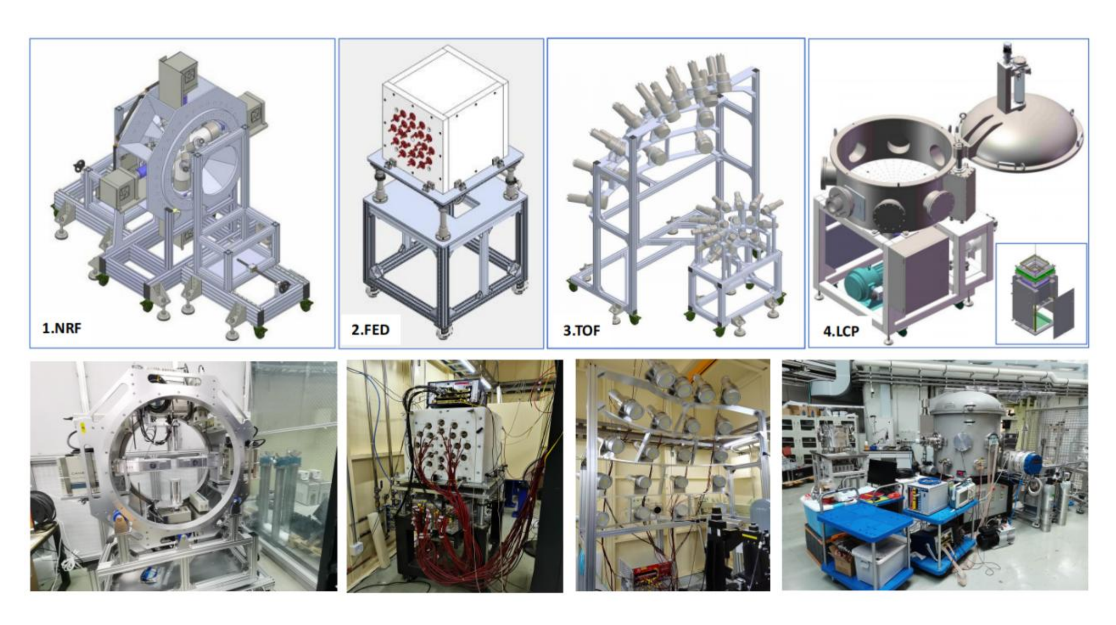


图 3，核共振荧光谱仪 NRF，平坦效率谱仪 FED，飞行时间谱仪 TOF

和轻带电离子谱仪的工程设计图（上图）和对应的现场照片（下图）

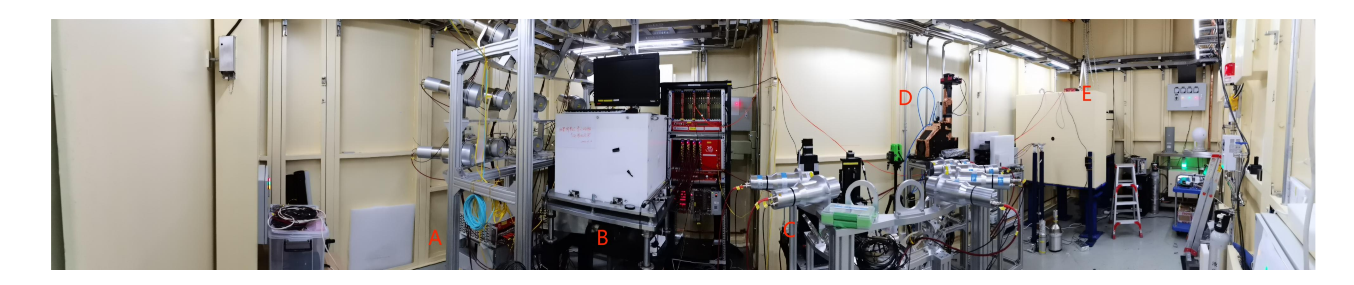


图 4，SLEGS 实验棚屋的 TOF 和 FED 谱仪布局现场照片（广角镜头拍摄，从左到右分别为 A：飞行时间谱仪 TOF 支架和 EJ301 闪烁体探测器，B：平坦效率谱仪 FED 支架及电子学机柜，C：核共振荧光谱仪 NRF 的部分溴化镧探测器及支架，D：束斑检测器 GSM 以及 E：伽马束流垃圾桶）

3 SLEGS 的试运行与方法学研究

2021 年 12 月 25 日，SLEGS 完成了工艺测试验收，开始进入到试运行阶段[27]，首先开展了不同碰撞角度（对应伽马能量）下束流流强、能谱测量，SLEGS 转动角度 1 度对应能量 0.25keV：

1、伽马能谱、伽马流强的精确测量与解谱分析，如图 5 所示，左上为 200mA 电子束流强度不同激光器功率（5W/100W）条件下对应的伽马产额（通量）分布，5W 为实验测量，约 10^5 phs/s@2mm 粗准直器孔径，约 10^6 phs/s@3mm 粗准直器孔，100W 曲线为等效计算，虚线为理论模拟计算结果。右上为实验测量不同角度下的伽马能谱（$LaBr_3$ 测量）；左下和右下分别为 90 度和 180 度的模拟计算伽马解谱与 $LaBr_3$ 实际测量能谱的比较。

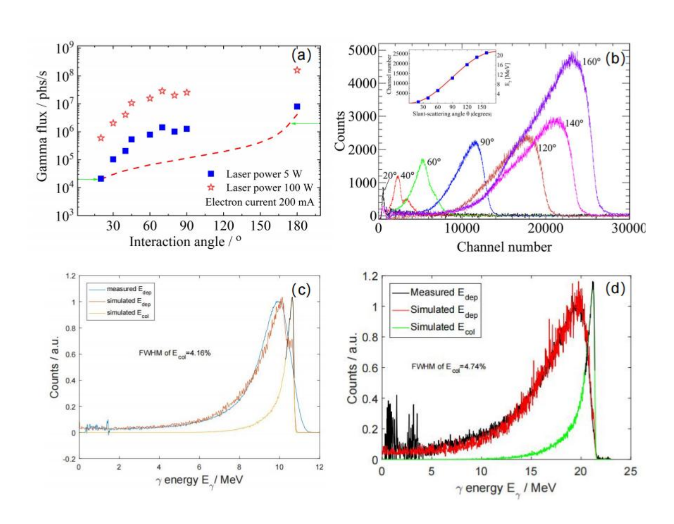


图 5，SLEGS 测试运行中测量的通量与能谱分析，分别对应伽马产额分布（a），不同角度下伽马能谱（b），90 度伽马能谱解谱（c）和 180 度伽马能谱解谱（d）

2、光中子截面测量方法学、伽马活化测量及伽马成像研究

采用 ^3He 正比计数器组成的平坦效率谱仪(FED)，开展了一系列的光中子测量实验方法学研究（图 6a，

6b 所示），从谱仪的中子探测效率刻度，伽马流强的活化测量验证，实验棚屋中子本底的消除到中子能谱卷积等都进行了系列的分析研究，目前已经完成了粗准直器 2mm 孔径下的光中子截面的多角度下的实验测量，进一步的截面数据分析正在进行中。此外 SLEGS 还开展了伽马活化及伽马成像的方法学研究，如图 6c，6d 所示，相关结果将稍后发表。

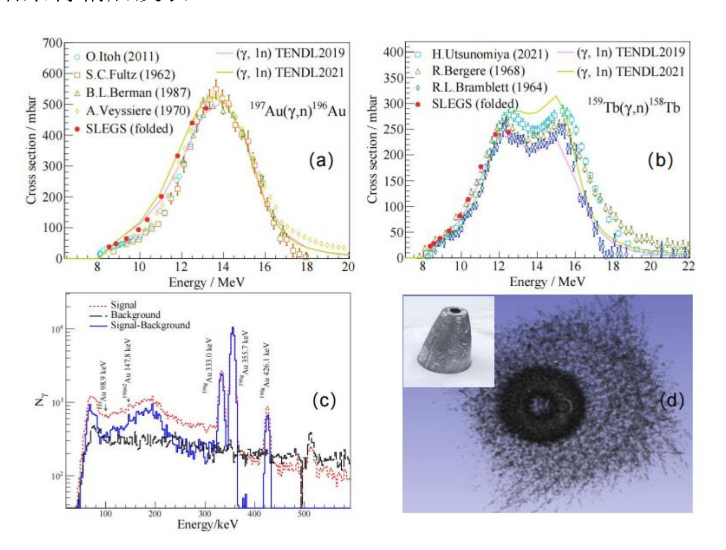


图 6，SLEGS 测试运行中的光中子截面测量（a,b），伽马活化分析（c）

及伽马成像谱分析（d，对中空铅坠的成像）

4 SLEGS 的开放与未来发展展望

SLEGS 光束线站已经于 2023 年 3 月向用户开放课题申请，用户可以随时申请，但每年只有两次审批，分别为 3 月 31 日截止(分配束流时间 7-12 月)，9 月 31 日截止(分配束流时间 1-6 月)，上海光源（SSRF）普通用户课题申请流程如下：

（1）登录“中国科学院重大科技基础设施共享服务平台”注册用户，网址为 https：//lssf.cas.cn

（2）选择设施展示→公共研究设施→上海光源

（3）注意页面顶端右侧提示→科研用户登录/注册

（4）注册登录以后，进入“新增课题申请”，选择新增课题/重点课题/紧急课题

（5）根据提示填写课题研究内容，注意加盖单位公章

SLEGS 光束线站的技术创新有：（1）首台同时具备斜入射和背散射两种运行模式的激光康普顿散射装置。（2）首台大角度调节的“斜入射”模式激光康普顿散射装置。（3）具有最好的能量扫描精度、流强密度、流强稳定性。

SLEGS 的建成促进了加速器技术和激光技术的进一步交叉融合，拓宽了加速器和激光的应用领域。

（1）实现对储存环电子束能散等关键参数实验精确测量。（2）实现对储存环运行状态中真空度、 轨

道等参数的实时监控。（3）实现对高功率强聚焦激光束焦点束斑尺寸、形貌等参数的实验精确测量。为超远距离激光传输稳定性控制技术提供参考。

SLEGS 光束线站与光核物理研究未来计划有：

（1）SLEGS 光束线开展批量光中子截面（GDR 能区）测量，共振荧光等测量，丰富光中子数据库，提供中国的光核数据直接测量结果。

（2）SLEGS 实验终端建设伽马辐照效应、伽马探测器定标、伽马正电子产生、伽马活化、伽马嬗变等应用平台建设，开展基于伽马源的技术应用和国家需求研究。

（3）开展未来新一代激光康普顿散射伽马源的关键技术研究，筹划在软 X 射线自由电子激光（SXFEL）以及硬 X 射线自由电子激光（SHINE）装置上建设新一代国际领先的激光电子伽马源。

参考文献（References）

[01] ARUTYUNYAN F R, TUMANYAN V A. Phys Lett, 1963, 4: 176.

[02] MATONE G, PICOZZA P, PROSPERI D, et al. Lecture Notes in Physics, 1977, 62: 149.

[03] SANDORFI A M, LEVINE M J, THORN C E, et al. IEEE T Nucl Sci, 1984, 30: 3083.

[04] OHGAKI H, TOYOKAWA H, KUDO K et al. Nucl Instr and Meth A, 2000, 455: 54.

[05] WELLER H R AND AHMED M W. Mod. Phys Lett. A, 2003, 18: 1569.

[06] GIBSON D J, ANDERSON S G, BARTY C P J, et al. Phys Plasmas, 2004, 11: 2857.

[07] GIBSON D J, ALBERT F, ANDERSON S G, et al. Phys Rev ST Accel Beams, 2010, 13: 070703.

[08] NAKANO T, EJIRIA H, FUJIWARA M ,et al. Nucl Phys A, 1998, 629: 559c.

[09] KANEYASU T, TAKABAYASHI Y, IWASAK Y, KODA Y, et al. Nucl Instr and Meth A, 2011, 659: 30.

[10] ALBERT F, ANDERSON S G, GIBSON D J, et al. Phys Rev ST Accel Beams, 2011, 14: 050703.

[11] AMANO S, HORIKAWA K, ISHIHARA K, et al. Nucl Instr and Meth A, 2009, 602: 337.

[12] TAIN J L, LALLENA A M, EBRAHIM M, et al. Proposal for the Construction of a Gamma-Ray Beam Line at the Spanish Synchrotron ALBA, December, 2004.

[13] WURTZ W A. Considerations for the Construction of a Gamma ray Beam Line at the Canadian Light Source. Canadian Light Source, Apr 22, 2010.

[14] AHNA J K, KIM E S. Nucl Instr and Meth A, 2004, 528: 600.

[15] HABS D, TAJIMA T, ZAMFIR V. Nuclear Physics News, 2011, 21: 23. and ELI-NP White Book, http://www.eli-np.ro/documents/ELI-NP-WhiteBook.pdf

[16] WANG Hongwei, FAN Gongtao, LIU Longxiang, et. al. Nuclear Physics Review, 2020, 37(1):53-63(in Chinese). doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019043(王宏伟，范功涛，刘龙祥，等. 原子核物理评论，2020, 37(1):53-63. doi: 10.11804/NuclPhysRev.37.2019043)

[17] WANG H W, FAN G T, LIU L X, et al. NUCL SCI TECH (2022) 33:87, https://doi.org/10.1007/s41365-022-01076-0

[18] DU Yingchao, HUANG Wenhui, YAN Lixin, et al. High Power Laser and Particle Beams, 2009, 21(2): 265. (in Chinese)

(杜应超, 黄文会, 颜立新, 等, 强激光与粒子束, 2009, 21(2): 265.)

[19] Du Yingchao, Chen Han, Zhang Hongze, et al. High Power Laser and Particle Beams, 2022, 34: 104010. doi: 10.11884/HPLPB202234.220132(in Chinese)(杜应超, 陈寒, 张鸿泽, 等. 强激光与粒子束, 2022, 34: 104010)

[20] AN Guangpeng, CHI Yunlong, DANG Yongle, et al. Matter and Radiation at Extremes 3(4), 2018: 219. doi.org/10.1016/j.mre.2018.01.005

[21] Guangyi Tang, Shanhong Chen, Yuan Chen et al. Rev Sci Instr,1 March 2020; 91 (3):033109. doi.org/10.1063/1.5132975

[22] Si M, Chen S, Huang Y, et al. Eur Phys J D 76, 63 (2022). doi.org/10.1140/epjd/s10053-022-00389-4

[23] Takahashi T., An G, Chen Y, et al. Eur Phys J C 78, 893 (2018). https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-018-6364-1

[24] U S Department of Energy, Oct 27, 2008，Next-Generation Photon Sources for Grand Challenges in Science and Energy. United States, 2009. Web. doi:10.2172/964403.

[25] Graves W S, Bessuille J, Brown P, et al. Phys. Rev. ST Accel. Beams 17, 120701 (2014), doi.org/10.1103/PhysRevSTAB.17.120701

[26] Weller Henry R, Ahmed, Mohammad W, Gao Haiyan, et al. Progress in Particle and Nuclear Physics 62 (2009) 257 – 303, doi.org/10.1016/j.ppnp.2008.07.001

[27] Tanaka K A, SpohrK. M, Balabanski D L, et al. Matter and Radiation at Extremes 5, 024402 (2020), doi.org/10.1063/1.5093535

[28] Kawano T, Cho Y S, Dimitriou P, et al. January 2020, Pages 109-162, doi.org/10.1016/j.nds.2019.12.002

[29]GE Zhigang, XU Ruirui, WU Haicheng, et al. EPJ Web of Conferences 239, 09001 (2020), doi.org/10.1051/epjconf/202023909001

[30] WANG Hong-Wei, FAN Gong-Tao Fan, LIU Long-Xiang, et al. Nucl Sci Tech (2022) 33:87, doi.org/10.1007/s41365-022-01076-0

[31] XU H H, FAN G T, WANG H W, et al. Nucl Instr Meth Phys A 1033, 166742 (2022), doi.org/10.1016/j.nima.2022.166742

[32] HAO Z R, FAN G T, WANG H W, et al. Collimator system of SLEGS beamline at SSRF. Nucl Instr Meth A 1013, 165638 (2021), doi.org/10.1016/j.nima.2021.165638

[33] HAO Z R, FAN G T, WANG H W, et al. A new annular collimator system of SLEGS beamline at SSRF. Nucl Instr Meth B 519, 9–14 (2022), doi.org/10.1016/j.nimb.2022.02.010

[34]KUANG Pan, SONG Longlong, CHEN Kaijie, et al. Nuclear Physics Review, 2023, 40(1):58-65. doi: 10.11804/NuclPhysRev.40.2022040(in Chinese)（匡攀，宋龙龙，陈开杰，等，原子核物理评论，2023, 40(1):58-65. doi: 10.11804/NuclPhysRev.40.2022040.）

[35] HAO Z R, FAN G T, LIU L X, et al. Nuclear Techniques 43, 57–65 (2020). doi.org/10.11889/j.0253-3219.2020.hjs.43.110501(in Chinese) (郝子锐, 范功涛, 刘龙祥, 等，核技术，第 43 卷第 11 期，2020 年 11 月)

[36]CHEN Kai-Jie, LIU Long-Xiang, HAO Zi-Rui, et al. Nucl Sci and Tech (2023) 34:47, doi.org/10.1007/s41365-023-01194-3

[37] 刘龙祥，王宏伟，韩建龙, 等，自动获取数据的系统，专利号：ZL-2016-1-008934.7, 2020 年 3 月 20 日授权

Construction and trial operation of Shanghai laser electron gamma

source

WANG Hongwei[1,2,3,1)], FAN Gongtao[1,2,3], XU Hanghua[1], LIU Longxang[1], ZHANG Yue[1], HAO Zirui[1], YANG Yuxuan[3,4], JIN Sheng[2,3], CHEN Kaijie[3,5], LI Zhicai[1,6], JIAO Pu[1,7], ZHOU Mengdie[1,7], WANG Zhengwei[2,3]

(1. Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 201800, China;
4. Zhengzhou University, Henan 450001, China;
5. ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China;
6\ South China University, Hunan 421001, China;
7. Henan Normal University, Henan 453007, China)

Abstract: Introduces the construction and trial operation of Shanghai Laser Electron Gamma Source (SLEGS) beamline station, one of the Shanghai light source(SSRF) projects II, which can carry out basic research on nuclear physics and nuclear astrophysics, and carry out applied research such as gamma irradiation, gamma imaging and gamma activation at SLEGS gamma source. The SLEGS beamline station passed the process acceptance in December 2021, entered the trial operation stage in October 2022, and have open to users in September 2023. SLEGS is the first in the world to use the continuous collision angle mode to change the energy of the gamma beam, with the best energy scanning accuracy, flow intensity density and efficient energy regulation ability. In the trial operation stage, the SLEGS beamline station focused on solving the problem of online monitoring of gamma beam energy spectrum and flow intensity, mainly completed the experimental methodology research of optical neutron cross-section measurement by flat efficiency spectrometer (FED), and carried out the expansion and research of application platforms such as gamma imaging, gamma activation, and positron source generation. With the development of inverse Compton scattering techniques, short-pulse, high-polarization, high-throughput, and miniaturized laser Compton scattering light sources will usher in better development opportunities in the future, and will play an important role in nuclear physics, astrophysics, particle physics, polarization physics, as well as aerospace, medical testing, energy development and other gamma source application research fields.

Keywords: laser electron gamma source, SLEGS, photonuclear reaction, collective motion

Received date: **2023**-08-01; **Revised date: 2024-02-25**

Foundation item: National Key R&D Program of China (2022YFA1602400); National Natural Science Foundation of China (No.12275338, 12005280); the Key Laboratory of Nuclear Data foundation(JCKY2022201C152), the Chinese Academy of Sciences President's International Fellowship Initiative(No. 2021VMA0025)

1) E-mail: wanghw@sari.ac.cn